

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.91.04

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИНТЕЗА КИНЕМАТИКИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ ОБРАБОТКИ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*д-р техн. наук, проф. В.А. ДАНИЛОВ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассматриваются основные задачи синтеза кинематики формообразования и кинематических схем обработки поверхностей на этапе функционального проектирования формообразующих систем станков. Упрощение кинематики станка и повышение его кинематической точности обеспечивают: синтез структуры исполнительных движений, создающей благоприятные условия процесса обработки и работы механизмов станка путем исключения реверсивных движений; совмещение исполнительных движений для упрощения кинематической схемы обработки и повышения производительности; введение дополнительных движений; задание рационального сочетания скоростей и направлений элементарных движений или регулирование их скорости для управления формообразованием и условиями резания; рациональное распределение элементарных движений между исполнительными органами станка для обеспечения его универсальности.

Постановка задачи. Функциональное проектирование станочного оборудования включает этапы концептуального и схематического проектирования [1], завершаемые применительно к механике станка разработкой его кинематической структуры и принципиальной кинематической схемы. Эти задачи решаются на основе синтеза общей схемы обработки поверхности [2], кинематики формообразования и кинематической схемы обработки. Принимаемые на этих этапах решения носят принципиальный характер и их недостатки не могут быть устранены или компенсированы на последующих этапах проектирования и конструирования станка. Разработка кинематики формообразования и кинематической схемы обработки, выполняемая на основе принятой общей схемы обработки, относится к концептуальному проектированию станочного оборудования, определяющему принцип построения и функционирования формообразующей системы станка. Основные задачи синтеза кинематики формообразования и кинематической схемы обработки – *задание*, исходя из реализуемого метода формообразования поверхности, рационального распределения функции формообразования между инструментальной и кинематической подсистемами станка; *определение* количества, структуры и параметров исполнительных движений; *распределение движений* между исполнительными органами станка; *оценка* влияния формы материального носителя производящих линий на конструкцию инструмента и станка и др. Кинематика формообразования и кинематическая схема обработки, являясь основой схематического проектирования станка, в значительной степени определяют его производительность, универсальность и другие технико-экономические характеристики, поэтому разработка методологических основ решения указанных задач имеет практическое значение.

Рассмотрим некоторые аспекты этой проблемы исходя из основных положений теории формообразования поверхностей и проектирования кинематики станочного оборудования.

Основы синтеза кинематики формообразования. Методологической основой синтеза кинематики формообразования выступает положение теории формообразования поверхностей, согласно которому формирование поверхности включает воспроизведение производящих линий (образующей и направляющей) и их относительное перемещение [3]. При этом каждая из этих линий может быть образована или одним из простых методов (копирования, следа, касания, обката) [4], или их сочетанием [5], а методы формообразования поверхности в целом представляют возможные сочетания методов формообразования производящих линий. Чем больше методов формообразования реализуется станком, тем шире его технологические возможности (универсальность) по форме обрабатываемых поверхностей.

Кинематика формообразования производящей линии зависит от типа материального носителя ее формы, которым в зависимости от распределения функции формообразования между компоновочной, кинематической и инструментальной подсистемами станка может быть производящий элемент инструмента (точка, линия или поверхность), кинематика и компоновка станка или их сочетание. Поэтому от выбора метода формообразования зависит сложность инструмента и станка. При методах копирования и обката производящим элементом является линия, однако в первом случае для ее образования движение формообразования не требуется, а материальным носителем формы линии служит инструмент. Во втором случае линия формируется в результате сложного относительного движения производящего элемента как

огибающая множества его положений. Материальным носителем формируемой линии в этом случае являются инструмент и кинематика станка, благодаря чему одним инструментом можно обрабатывать различные поверхности. По сравнению с методом копирования форма инструмента упрощается, а формообразующая система станка усложняется. В общем случае при перенесении функции кинематики формообразования на инструмент механика станка упрощается, а конструкция инструмента усложняется.

Наибольшая универсальность схемы формообразования обеспечивается при методах следа и касания благодаря тому, что производящим элементом является точка, которой для образования производящей линии в первом случае требуется сообщить одно, а во втором – два движения формообразования. Материальным носителем формируемой линии в этих случаях служит только кинематика станка, что и обеспечивает его универсальность. Следует иметь в виду, что хотя при методе касания требуется на одно движение формообразования больше, чем при методе следа, однако в последнем случае часто для стабилизации рабочих углов инструмента требуется движение ориентации, усложняющее кинематическую схему обработки.

Технологические возможности станка по форме обрабатываемых поверхностей существенно расширяются при реализации управляемых кинематических схем обработки, что обуславливает необходимость их разработки при проектировании формообразующей системы. Управление схемами формообразования для обеспечения заданной траектории исполнительного движения достигается настройкой соотношения скоростей и направлений элементарных движений, образующих исполнительные движения, геометрических параметров схемы обработки, относительного расположения и перемещения траекторий элементарных движений и т.д., то есть кинематическими и геометрическими методами [6]. Управление кинематическими методами заключается в обеспечении требуемого соотношения скоростей движений исполнительных органов станка за счет кинематической настройки, копировальных устройств, механизмов-построителей или программных средств. Наиболее простым в реализации и наиболее точным является метод кинематической настройки (кинематического профилирования), особенно если требуемая траектория движения формообразования создается согласованными постоянными по скорости и направлению движениями исполнительных органов станка. В этом случае исключаются ошибки формирования образуемой линии, имеющие место при других методах, обусловленные, например, неточностью изготовления копира и работы копировальной системы или программированием координат только отдельных точек этой линии.

Следует отметить, что метод кинематического профилирования применим не только для точного, но и для приближенного формирования производящих линий, например, когда заданная линия заменяется другой, легко формируемой, линией.

Требуемое согласование движений исполнительных органов при кинематическом профилировании производящих линий может обеспечиваться в станке не только механическими, но и электромеханическими, и мехатронными кинематическими связями [7]. Отличие последнего случая от метода формирования производящей линии программными средствами состоит в том, что задаются не координаты отдельных ее точек, а скорости движений исполнительных органов. В этом случае согласование скоростей движений осуществляется простыми техническими средствами (устройствами с настраиваемым передаточным отношением, программируемыми контроллерами и т.п.).

Изменением соотношения скоростей и направлений элементарных движений, образующих движение формообразования, обеспечивается управление траекторией этого движения для ее приближения к требуемой точностью к принадлежащей номинальной поверхности производящей линии. Кинематическое управление формой производящих линий через параметры исполнительных движений (траекторию, скорость, направление, исходное положение, путь), а также за счет относительного и абсолютного геометрического положения траектории движения значительно расширяет технологические возможности схем обработки по форме поверхностей без введения дополнительных движений, т.е. без усложнения кинематики формообразования и, соответственно, станка. Такое управление является универсальным методом формирования сложных поверхностей. Оно широко применяется, например, в схемах кинематического профилирования, основанных на двух согласованных по скорости и направлению элементарных движениях. В этом случае траектория исполнительного движения представляет циклоидальную линию, которая в зависимости от кинематических и геометрических параметров схемы формообразования может быть прямой, окружностью, эллипсом и более сложными по форме кривыми [8]. Изменением относительного расположения плоскостей вращательных движений достигается модификация этих кривых, что расширяет технологические возможности схемы формообразования без введения дополнительных движений [5]. Управляемые схемы формообразования расширяют технологические возможности станков без усложнения их кинематики. Реализация таких схем с применением в обобщенных случаях числового программного управления еще в большей степени повышает универсальность станочного оборудования и упрощает осуществление движений с переменными параметрами.

Кинематика формообразования в общем случае обусловлена одновременностью осуществления множества взаимосвязанных элементарных движений, создающих исполнительные движения. Учитывая, что одна и та же линия может быть получена различными по структуре движениями, важно обоснованное задание структуры движения исходя из ее влияния на условия резания и работы механизмов станка.

Задание структуры и определение количества исполнительных движений. Формообразующая обработка основана на сообщении инструменту и заготовке относительных исполнительных движений формообразования (Φ), врезания (Bp), деления (D), а также установочных (Ucm) и вспомогательных (Bcn) перемещений [4]. Простые и сложные исполнительные движения создаются соответственно одним или несколькими взаимосвязанными элементарными движениями (вращательное B , поступательное $П$, качательное K), которые сообщаются инструменту и (или) заготовке.

Структура исполнительных движений в наибольшей степени зависит от формы создаваемой линии и метода ее формообразования. Для упрощения исполнительных движений и их реализации на станке производящие линии заданной поверхности обычно принимают плоскими или расположенными на поверхностях вращения в соответствии с координатными перемещениями исполнительных органов станка. Основой кинематики формообразования служит принятый метод получения поверхности, определяемый сочетанием возможных методов образования её производящих линий, каждый из которых реализуется определенным количеством движений. Так, для образования линии методом следа требуется одно движение формообразования, методом касания – два движения, методом обката – одно сложное движение, при методе копирования вместо движения формообразования выполняется установочное движение, в частном случае движение врезания.

С учётом этого и геометрических моделей процессов формообразования могут быть построены кинематические модели, отражающие структуру исполнительных движений, которая в наибольшей степени зависит от формы создаваемой линии (плоская или пространственная) и метода ее формообразования. Для упрощения исполнительных движений производящие линии целесообразно принимать плоскими или расположенными на поверхностях вращения в соответствии с координатной системой станка.

Плоская линия может быть образована методом следа одним или двумя элементарными движениями B , $П$, O и K . При дополнительных требованиях (повышение точности формообразования, стабилизация рабочих углов инструмента) в структуру исполнительного движения вводится соответствующее движение, например ориентирующее.

Неплоская линия, расположенная на цилиндрической поверхности вращения, образуется исполнительными движениями ($ВП$), ($ВО$) и ($ВПО$) при условии, что элементарные движения $П$ и O направлены вдоль образующей цилиндрической поверхности. Неплоские линии на конических поверхностях вращения образуются, если движения $П$ и O направлены вдоль образующей поверхности (обеспечивается компоновкой станка), а также за счёт введения движения $П_2$ для изменения радиуса конической поверхности, т.е. исполнительными движениями ($ВП_1П_2$), ($ВОП_2$), ($ВП_1ОП_2$). Такими же комбинациями элементарных движений образуются неплоские линии, расположенные на поверхностях вращения с криволинейной образующей, а также линии, принадлежащие сложнопрофильным поверхностям, при сообщении вращательного движения заготовке. Приведенные модели кинематики формообразования в общем случае дополняются движениями ориентации.

Универсальная кинематическая модель формообразования пространственных линий произвольной формы основана на движении ($П_1П_2П_3В_1В_2$), в котором движения $П_1$, $П_2$ и $П_3$ обеспечивают перемещение производящего элемента в декартовой системе координат, а движения $В_1$ и $В_2$ служат для ориентации инструмента относительно заданной номинальной поверхности изделия.

Кинематические модели формообразования производящих линий методом касания отличаются от рассмотренных независимым движением резания Φ_v (обычно вращательным) для образования дополнительных траекторий производящих элементов инструмента, формирующих заданную производящую линию.

Кинематика формообразования производящих линий методом обката обусловлена относительным перемещением аксоидов [9]. В зависимости от формы аксоидов их относительное перемещение создается определенной комбинацией взаимосвязанных элементарных движений: ($ВП$) – для цилиндрического и плоского аксоидов; ($ВВ$) – для цилиндрических, конических и гиперболических аксоидов вращения; ($ВВП$) – если один из аксоидов имеет некруглую форму. Кинематика формообразования поверхности определяется совокупностью движений, количество которых

$$H = H_O + H_H - 0,5H_C, \quad (1)$$

где H_O , H_H – количество движений для формирования соответственно образующей и направляющей; H_C – количество совмещенных движений.

С учетом геометрической и временной моделей процессов формообразования линий

$$H_O = H_{O\Phi} + H_{OV}; \quad H_H = H_{H\Phi} + H_{HV},$$

где H_{OV} , H_{HV} – количество движений для реализации метода генерации линии во времени; $H_{H\Phi}$, H_{HV} – количество движений для получения их формы.

Совмещенным является движение, обеспечивающее формирование одновременно обеих производящих линий.

Для упрощения кинематики станка важно, чтобы его технологические возможности обеспечивались минимальным количеством движений. Возможность минимизации количества движений формообразования ограничивается следующими факторами:

- методами формообразования производящих линий;
- разделением заданной поверхности на элементарные поверхности;
- выбором простой по форме образующей из двух производящих линий формируемой поверхности;
- формой производящего элемента, его положением и направлением перемещения в координатной системе станка;
- возможностью совмещения движений и др.

Оптимизация структуры исполнительных движений. Сложность кинематики формообразующей системы станка обусловлена количеством и структурой необходимых исполнительных движений. Задание и оптимизация их структуры – одна из основных задач синтеза кинематики формообразования при проектировании станка. Многообразие возможных решений обусловлено тем, что одна и та же линия может быть образована различными сочетаниями движений. Например, окружность обычно формируется одним вращательным движением. При обработке же отверстий в неподвижных деталях (например, фрезерованием, а также при раскрое материала плазменной, лазерной, гидроабразивной и другими видами резки) окружность обычно получают двумя согласованными прямолинейными реверсивными движениями. Данные схемы образования окружности неравнозначны по сложности их реализации и влиянию

на динамику работы исполнительных механизмов станка. В этой связи выбор из множества возможных рационального сочетания элементарных движений представляет один из путей оптимизации кинематики формообразования и структуры исполнительных движений.

Если исполнительное движение осуществляется со скоростью резания, что имеет место при образовании профиля методом следа, то зачастую для образования производящей линии предпочтительно сочетание нереверсивных движений, обеспечивающих по сравнению с реверсивными более высокие производительность и точность обработки. Таким образом, в общем случае предпочтительны комбинации нереверсивных движений, обеспечивающих более высокую производительность и точность обработки.

Реверсивные элементарные движения могут быть исключены геометрическим и кинематическим методами. Рациональная структура исполнительного движения геометрически может быть обеспечена путем выбора системы координатных перемещений [5]. Например, образование линии ab , имеющей точку перегиба, в системе координат XOY двумя ортогональными перемещениями S_1 и S_2 производящей точки возможно лишь при переменном по направлению перемещении S_2 (рис. 1, а). Это характерно для традиционной схемы получения криволинейных поверхностей на станках с копировальной или числовой системами управления. Наличие переменной по направлению поперечной подачи отрицательно влияет на точность обработки из-за погрешности, обусловленной реверсированием исполнительного органа станка.

Та же линия в системе X_1Y_1 , повернутой на угол α относительно системы XY , образуется неизменными по направлению перемещениями S'_1 и S'_2 (рис. 1, б), если $|\alpha| \geq |\varphi_{\max}|$, где φ_{\max} – максимальное значение угла между положительными направлениями кривой и осью абсцисс. В данном случае образующая ab номинальной поверхности создается движением $\Phi_S(P_2P_3)$, поэтому

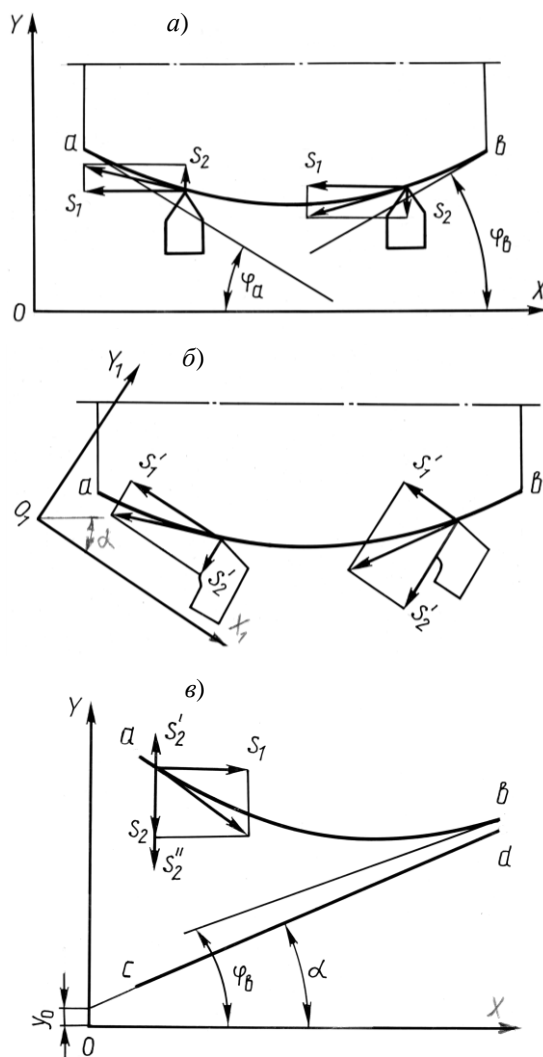


Рис. 1. Схемы формообразования криволинейной производящей линии реверсивным элементарным движением (а), не реверсивными движениями (б), при дополнительном движении (в)

исключаются влияние на точность формообразования зазоров в кинематической цепи привода подачи, различия в упругих деформациях её элементов в противоположных направлениях, нечувствительность копировальной следящей системы.

Кинематически реверсивное движение может быть исключено сложением противоположно направленных движений, одно из которых осуществляется с постоянной, а другое – с переменной скоростью. Например, в каждый момент времени перемещение S_2 производящей точки при образовании линии ab , уравнение которой $y = f(\varphi)$, можно представить как $S_2 = S_2' - S_2''$, где $S_2' = y_o + xtg\alpha$ – перемещение этой точки по линии cd (рис. 1, в); $S_2'' = y_o + xtg\alpha - f(x)$, $|\alpha| \geq |\varphi_{\max}|$. Однако для сообщения инструменту таких движений необходимы два исполнительных органа, что усложняет конструкцию станка и снижает его жесткость.

Реверсивное поступательное движение может быть исключено также заменой его вращательным. Рассмотрим этот метод на примере обработки бочкообразных зубьев дисковым инструментом. Их профилирование осуществляется копированием, а формообразование по длине – методом касания движениями $\Phi_v \langle \mathcal{B}_1 \rangle$ и $\Phi_s \langle \mathcal{I}_2 O_3 \rangle$ (рис. 2, а). Последовательность обработки зубьев обеспечивается периодическим поворотом B_4 заготовки. Движением O_3 расстояние между осями заготовки 1 и инструмента 2 изменяется в соответствии с заданной бочкообразностью зубьев. Изменение указанного расстояния возможно также при сообщении инструменту вращения B_3 вокруг оси, параллельной её геометрической оси (рис. 2, б). В данном случае движение подачи $\Phi_s \langle \mathcal{I}_2 B_3 \rangle$ создается нереверсивными элементарными движениями.

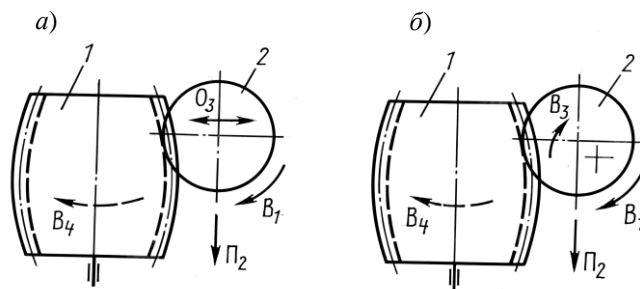


Рис. 2. Схемы формообразования бочкообразных зубьев с реверсивным относительным движением инструмента (а); с планетарным движением инструмента (б)

Вращательным движением можно заменить также два возвратно-поступательных. Например, образование окружности методом касания в неподвижных заготовках возможно по схемам $\Phi(O_1 O_2)$ или $\Phi(B)$. Первая характерна для станков с копировальными и числовыми системами управления, вторая применяется в станках с планетарным движением шпинделя. Движение B во второй схеме выполняет ту же функцию, что движения O_1 и O_2 в первом случае.

Замена сложного движения $\Phi(O_1 O_2)$ простым $\Phi(B)$ упрощает кинематическую схему обработки. Однако первая схема более универсальна, так как движением $\Phi(O_1 O_2)$ могут быть образованы не только окружности, но и различные циклоидальные кривые. Поэтому при синтезе структуры исполнительного движения должны учитываться конструктивные и технологические факторы.

Для обеспечения эффективных условий резания наряду с необходимыми для формообразования заданной поверхности движениями инструменту и (или) заготовке могут сообщаться дополнительные макро- или микродвижения. На этом основаны осциллирующее сверление, точение, шлифование и другие прогрессивные методы обработки. Необходимость в дополнительных движениях при обработке сложных

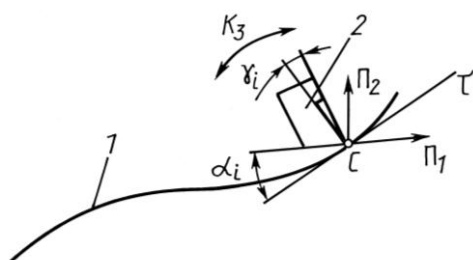


Рис. 3. Схема формообразования линии с ориентирующим движением инструмента

поверхностей часто обусловлена их геометрией. Например, для образования плоской линии 1 (рис. 3) методом следа достаточно сообщить производящей точке \tilde{N} (вершине резца 2) согласованные движения Π_1 и Π_2 так, что в каждый момент времени исполнительное движение $\Phi \langle \mathcal{I}_1 \Pi_2 \rangle$ направлено по касательной τ . Однако передний γ_i и задний α_i рабочие углы резца непрерывно изменяются, что обуславливает переменные условия резания и ограничивает технологические возможности схемы обработки по форме образуемых поверхностей допустимым диапазоном изменения указанных углов. Это ограничение исключается при сообщении резцу

дополнительного качательного движения K_3 вокруг точки C для стабилизации рабочих углов режущей части. Оно является ориентирующим движением $Op K_3$, параметры которого взаимосвязаны с движением формообразования. Если движение K_3 сообщается относительно другой точки, то оно изменяет форму линии, создаваемой движениями Π_1 и Π_2 . Поэтому в данном случае оно входит в структуру движения формообразования $\Phi_v \langle \Pi_1 \Pi_2 K_3^{op} \rangle$, причем параметры движений Π_1 и (или) Π_2 отличаются от параметров этих движений в схеме $[\Phi_v \langle \Pi_1 \Pi_2 \rangle, Op K_3]$. Ориентирующая функция движения K_3 сохраняется, что отражено в его обозначении.

Наличие ориентирующего движения улучшает условия резания и расширяет технологические возможности схемы обработки, поэтому учет данного обстоятельства представляет один из путей синтеза рациональных схем формообразования сложных поверхностей.

Совмещение исполнительных движений. Совмещение исполнительных движений одинакового или различного функционального назначения (формообразования, деления, ориентации и др.) позволяет упростить исходную кинематическую схему обработки. На этом принципе основаны, например, широко применяемые схемы обработки зубчатых колес с образованием профиля зубьев методом обката, характерным для которых является совмещение сложного движения обкатки, обеспечивающего профилирование нарезаемых зубьев, с движением деления. Благодаря этому зубонарезание осуществляется непрерывно, что повышает производительность процесса.

Для формообразования производящей линии необходимы движения профилирования и резания, т.е. движения, сообщаемые инструменту относительно заготовки для получения формы этой линии и срезания с заготовки слоя металла. Эти движения могут выполняться раздельно или быть совмещенными в одно движение. Совмещение движений в этом случае обычно связано с перенесением функции формообразования на инструмент, что упрощает кинематическую, но усложняет инструментальную подсистемы обрабатывающей системы станка, а также ограничивает возможности управления формообразованием. Например, нарезание узких цилиндрических колес методом обката гребенчатой фрезой 1 (рис. 4, а), когда заготовке 2 сообщается вращение B_2 , согласованное с её относительным перемещением Π_3 вдоль оси вращения фрезы, осуществляется независимыми (разделенными) движениями – главным $\Phi_v(B_1)$ и подачи (профилирования) $\Phi_s(B_2 \Pi_3)$. Возможность независимого управления скоростью каждого из этих движений позволяет управлять высотой огранки, образуемой на боковых сторонах зубьев.

При совмещении указанных исполнительных движений и перенесении функции кинематики формообразования на режущий инструмент данная схема обработки упрощается. Поэтому для нарезания тех же колес червячной фрезой (рис. 4, б) требуется только одно исполнительное движение $\Phi_{v,s}(B_1 B_2)$, поскольку движение Π_3 обеспечивается не кинематически, а конструкцией инструмента. В результате кинематическая схема обработки упрощается, а конструкция инструмента усложняется, и исключается возможность кинематически управлять высотой огранки обработанных поверхностей зубьев.

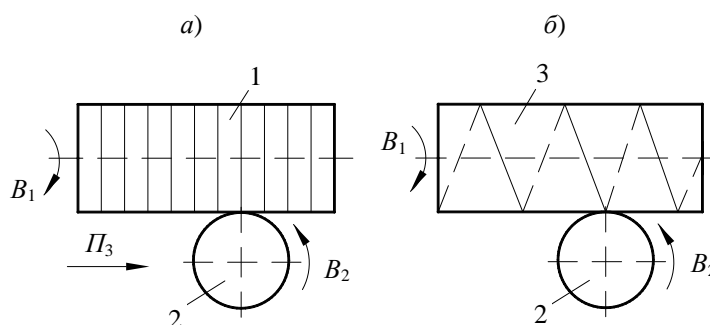


Рис. 4. Схемы нарезания зубчатого колеса при разделенных (а) и совмещенных (б) движениях профилирования и резания

В обоих случаях одновременно с профилированием непрерывно происходит процесс деления, который осуществляется за счет вращения B_2 заготовки. Таким образом, движение деления $D(B_2)$ совмещено с движением $(B_1 B_2)$ профилирования зубьев. Совмещение исполнительных движений наиболее эффективно, если оно не связано с усложнением конструкции инструмента.

Задание рационального сочетания скоростей элементарных движений. Для реализации сложного исполнительного движения с требуемыми параметрами требуется определенная функциональная связь скоростей элементарных движений. В большинстве случаев предпочтительны как более простые в реализации плоские или расположенные на поверхностях вращения производящие линии. Соотношение скоростей элементарных движений при образовании плоской линии двумя прямолинейными движениями по взаимно перпендикулярным направлениям обусловлено ориентацией скорости результирующего движения по касательной к образуемой линии. Если линия $y = f(x)$ образуется точкой, имеющей скорость $v = v(t)$, где t – время, то её криволинейное движение разлагается на два прямолинейных: $x = f_1(t)$ и $y = f_2(t)$, скорости которых соответственно $v_x = f_1'(t)$ и $v_y = f_2'(t)$. Скорость v направлена по касательной к траектории результирующего движения, поэтому

$$v_x = v y'_x / \sqrt{1 + y'^2_x}, \quad (2)$$

$$v_y = v / \sqrt{1 + y'^2_x}. \quad (3)$$

Интегрированием выражений (2) и (3) находятся уравнения элементарных движений $x = f_1(t)$ и $y = f_2(t)$, осуществляемых кинематикой станка. Аналогично определяются скорости для иных сочетаний элементарных движений: $(B\Pi)$, (BB) и других.

Скорость движения формообразования оказывает существенное влияние на производительность обработки и стойкость инструмента, поэтому задание соотношения параметров элементарных движений, обеспечивающих стабилизацию скорости исполнительного движения или изменение её по определенному закону, является необходимым этапом синтеза рациональной кинематики формообразования и представляет путь её оптимизации.

Для стабилизации скорости движения формообразования искомые значения v_x , v_y , $f_1(t)$ и $f_2(t)$ определяются исходя из выражений (2) и (3) при $v = const$.

Распределение элементарных движений между инструментом и заготовкой. Кинематика формообразования может быть реализована множеством кинематических схем обработки, каждая из которых при одинаковых исполнительных движениях отличается распределением составляющих их элементарных движений между инструментом и заготовкой. Например, формообразование цилиндрической поверхности в зависимости от распределения исполнительных движений $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(\Pi_2)$ между резцом и заготовкой возможно четырьмя кинематическими схемами обработки:

- 1) оба движения сообщаются заготовке (обработка на автоматах продольного точения);
 - 2) движение B_1 сообщается заготовке, Π_2 – резцу (обработка на универсальных токарных станках);
 - 3) движение B_1 сообщается резцу, Π_2 – заготовке (обработка на бесцентровых токарных станках);
 - 4) оба движения сообщаются резцу (обработка на специальных станках шеек коленчатых валов).
- Каждая из данных схем имеет область эффективного применения.

От распределения движений зависят компоновка, универсальность, жесткость и другие характеристики станка, поэтому кинематическая схема обработки должна приниматься на основе анализа возможных вариантов распределения элементарных движений между исполнительными органами станка с учётом технологических и конструктивных факторов.

В большинстве случаев предпочтительно сообщать движения одновременно инструменту и заготовке, чем одному из них сложного движения, например планетарного, так как кроме упрощения конструкции улучшаются динамические условия работы станка и расширяются его технологические возможности. Учитывая это, иногда целесообразно простое или одно из элементарных движений разлагать на два, которые сообщаются инструменту и заготовке навстречу друг другу. В данном случае хотя и усложняется кинематика станка, однако существенно уменьшаются значения абсолютных значений скоростей исполнительных органов. Например, разложение простого вращательного движения $\Phi(B)$ на два, сообщаемых одно сверлу, а второе – заготовке в противоположных направлениях, позволяет при той же скорости резания в 2 раза уменьшить значения частот вращения исполнительных органов станка. Аналогично, при строгании и долблении исполнительное поступательное движение $\Phi_v(\Pi)$ может быть разложено на два элементарных, сообщаемых одновременно инструменту и заготовке для уменьшения динамических нагрузок в исполнительных механизмах станка.

Изложенные принципы построения общих схем обработки и кинематики формообразования составляют основу модели синтеза кинематических схем обработки, которая в структурном виде представлена на рисунке 5. Связывая схему формообразования поверхности, метод обработки, технологическую компоновку и кинематическую подсистему формообразующей системы станка, она служит основой для проектирования его кинематической структуры и кинематической схемы.



Рис. 5. Алгоритм синтеза кинематической схемы обработки

Заключение. Проведенное исследование показало, что общими принципами синтеза рациональных кинематики формообразования и кинематических схем обработки при проектировании станочного оборудования являются:

- перенесение функции кинематики формообразования на инструмент, что обеспечивает упрощение кинематики станка и повышение его кинематической точности;
- синтез структуры исполнительных движений, обеспечивающей благоприятные условия резания и работы механизмов станка за счет исключения геометрическим или кинематическим методами реверсивных движений исполнительных органов, замены возвратно-поступательных движений вращательными;
- совмещение исполнительных движений для упрощения кинематической схемы обработки и повышения производительности;
- разделение исполнительных движений для обеспечения возможности независимого управления ими с целью оптимизаций условий резания, повышения качества обработки;
- введение дополнительных движений, задание рационального сочетания скоростей и направлений элементарных движений или регулирование их скорости для управления точностью формообразования, схемой и условиями резания;
- рациональное распределение элементарных движений между исполнительными органами станка для обеспечения его универсальности.

Рассмотренные принципы построения кинематики формообразования и кинематических схем обработки являются универсальными при создании и модернизации специального и многофункционального станочного оборудования для обработки различных поверхностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев, Г.Н. Автоматизация проектирования металлорежущих станков / Г.Н. Васильев. – М.: Машиностроение, 1987. – 280 с.
2. Данилов, В.А. Синтез рациональных общих схем обработки при проектировании станков / В.А. Данилов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2011. – № 11. – С. 89 – 96.
3. Коновалов, Е.Г. Основы новых способов металлообработки / Е.Г. Коновалов. – Минск: Изд-во АН БССР, 1961. – 257 с.
4. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
5. Данилов, В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В.А. Данилов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 264 с.
6. Данилов, В.А. Общие принципы управления формообразованием при обработке резанием / В.А. Данилов, В.А. Терентьев // Машиностроение: республ. межведомств. сб. науч. тр. Вып. 20: в 2-х т. Т. 1; под ред. И.П. Филонова. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – С. 21 – 26.
7. Данилов, В.А. Синтез внутренних связей кинематических групп при проектировании металлорежущих станков / В.А. Данилов // Машиностроение: республ. межведомств. сб. науч. тр. Вып. 25. – Минск: БНТУ, 2010. – С. 312 – 318.
8. Данилов, В.А. Кинематическое формирование производящих линий поверхности при обработке резанием на базе циклоидальных кривых / В.А. Данилов, Л.А. Данилова // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2004. – № 12. – С. 44 – 53.
9. Родин, П.Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П.Р. Родин. – Киев: Вища школа, 1977. – 192 с.

Поступила 16.12.2011

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF THE SYNTHESIS OF SHAPING KINEMATICS AND KINEMATIC SCHEME TREATMENT IN THE COURSE OF FUNCTIONAL DESIGN OF MACHINE-TOOL EQUIPMENT

V. DANILOV

Basic tasks of the synthesis of shaping kinematics and kinematic scheme treatment at the functional design phase of shape-generating machine systems are considered. It is shown that simplification of the machine kinematics and improvements of its enduring accuracy provide the following: structure synthesis of slave movements, creating favorable conditions for treatment process and for work of the machine mechanism by exception of reverse motion; combination of slave movements for simplicity of kinematic scheme treatment and efficiency improving; added movements introduction; assignment of rational combination of rates and directions of elementary motions or regulation of their rates for managing of shaping and cutting conditions; rational distribution of elementary motions between machine final elements to provide its versatility.